

## 音響振動に起因する雑音の能動制御に関する研究

著者	嶋 明弘
号	1116
発行年	1987
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/9852">http://hdl.handle.net/10097/9852</a>

氏 名	嶋 明 弘
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 63 年 3 月 25 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 情報工学専攻
学 位 論 文 題 目	音響振動に起因する雑音の能動制御に関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 城戸 健一
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 城戸 健一    東北大学教授 竹田 宏 東北大学教授 中鉢 憲賢    東北大学助教授 牧野 正三

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 序 論

信号処理は情報の抽出・伝達・利用を目的として信号を操作することである。従来、音響測定等の信号処理はアナログ処理で行なわれていたが、Cooley と Tukey によって考案された高速フーリエ変換 (FFT) の出現を契機として、ディジタル処理で高精度に行なわれるようになった。ディジタル処理はアナログ処理に比べて自由度に富み、複雑な処理も可能である。

音響や振動信号は、測定対象とする周波数帯域とダイナミックレンジが極めて広く、莫大な情報量を含んでいる。このような音響信号のディジタル処理は、マイクロプロセッサに代表される LSI 技術や電子計算機の発達により実用的なものとなった。音響信号のディジタル処理の応用としては、音源位置の推定、音声の認識及び合成や製品の自動検査等がある。また、信号処理用の高速演算装置の開発も行なわれ、汎用計算機に比べてはるかに高速な信号処理が可能となってきている。現在、ディジタル信号処理技術の応用を支える VLSI 技術の急速な発達によって、複雑・高度な処理が高速でかつ経済的に実行可能になってきている。

音響伝達系のインパルス応答を正確に推定することは、音響信号処理における重要な課題の一つである。測定された音響系の伝達特性を利用すれば、入力信号としての音響信号源が伝達系を通して出力される信号を予測して、出力信号から消去することが可能である。これがディジタルフィルタによる能動消去の原理である。ディジタルフィルタによる能動消去の応用例としては、ラインエ

コーキャンセラ、室内拡声装置のハウリング防止システムやマイクロホン端子における不要信号の除去等がある。

本論文では、デジタルフィルタによる能動消去の応用として、板振動に起因する騒音環境下での音声信号収録及び付加音源を用いたダクト騒音の能動制御の二つを取り上げる。まず、板振動に起因する騒音をマイクロホン端子上で消去する場合に、板振動収録用にマイクロホンを用いる場合には、音声収録用マイクロホンとの間の距離を短くしなければならず、音響帰還の影響により系が不安定になってしまう。この問題を解決するために、板振動収録用に振動ピックアップを用いることを提案する。また、一つのピックアップだけで振動をピックアップした場合はうまく消去が行なわれない場合があるが、その原因が板の伝達関数の零点の影響であることを明らかにし、更に、その影響を除去するため複数のピックアップを用いる方法を提案する。次に、ダクト騒音を能動制御する方法として、ダクト内の伝達特性をあらかじめ測定し、それをもとに逆極性の音をダクト出口に設置した付加音源から放射する方法を取り上げる。本方法は、騒音源と付加音源がダイポールを構成することによる放射パワーの減少を利用したものであり、空間全体にわたる騒音消去が行なえる。また、付加音源を管外に設置することにより、音響帰還の影響を小さくすることができる。付加音源及びマイクロホンと音響的に等価な関係を別室に設置することにより、スピーカやマイクロホンの逆特性を直接計算しないで、それらの特性を含めたダクトのインパルス応答を推定できる方法を提案する。また、実際のダクトに近い条件での実験を行なうことにより、本手法の実用性について検討を行なっている。さらに、系の特性変化に追従できる、適応制御システムによるダクト騒音の能動制御について理論的考察を行ない、実験によりその有効性を確かめている。

## 第2章 能動制御のためのインパルス応答の推定法

本章では、能動制御のために必要な音響伝達系のインパルス応答の各種の推定法について述べた。正規方程式を解く方法は、因果律を満たし、Levinson and Durbin アルゴリズムを用いることによりそのまま解く場合に比べて高速に実行できるが、それでも計算量は多く、また音響伝達系の特性変化に追従することができない。クロススペクトル法で推定する方法は、因果律を解法に含めることができないが、FFTを使うことによって高速に実行できる。しかし、この方法では、音響伝達系の特性変化に追従することができない。この問題点を解決する方法として、適応フィルタを利用する方法がある。適応フィルタを使用すれば、収束に時間がかかるものの良好な解が求められる上に、音響伝達系の特性変化に追従できる。

## 第3章 板振動に起因する騒音環境下での音声信号収録

本章では、自動車電話等で、板振動に起因する騒音をマイクロホン出力端子上で打ち消す方法を提案した。この方法は、振動収録用に振動ピックアップを用いており、音響帰還がなく安定である。1つのピックアップだけを用いた場合、板厚 18mm では 16 dB の打ち消し量が得られた。しかし、板厚 5mm の場合には、十分な打ち消し量が得られなかった。その原因は、板の振動からピックアップまでの伝達関数に零点が生じ、板の振動から音声収録用のマイクロホンまでの伝達関数が正確に

推定できないためであることがわかった。そこで、複数のピックアップを用いることによって、伝達関数の零点の影響を除去する方法を提案した。その結果、1つのピックアップを用いた場合に打ち消し量が小さかった板厚5 mmの場合でも、3つのピックアップを用いることにより10dBの打ち消し量が得られた。今後の課題としては、金属の板の場合には残響時間が長いこと、時間窓長を長くする必要があり、振動源が複数個ある場合への適用がある。

#### 第4章 ダクト騒音の能動制御

本章では、ダクト騒音の能動制御について述べた。従来から、騒音の能動制御に関する研究は数多く行なわれてきたが、付加音源から波形合成用の収音マイクロホンへの音響帰還があることや、付加音源スピーカやマイクロホンの逆特性を求めなければならず、インパルス応答が正確に求められない、また、管内に付加音源スピーカを設置しているために、実用性の面では、保守が難しい等の問題点があった。そこで、本研究では、付加音源をダクトの外側に置き、ダイポールを構成することによって空間的な騒音消去を行なう方法を提案した。この方法では帰還が少なく安定で、保守が容易なシステムを構成できる。また、付加音源スピーカ及びマイクロホンと音響的に等価な関係を別室に設置することにより、スピーカやマイクロホンの逆特性を直接計算しないで、それらの特性を含めたダクトのインパルス応答が推定できる方法を提案した。この方法を用いてダクト騒音の消去実験を行なった結果、騒音源としてスピーカを用いた場合、風がないときには12dB程度の騒音打ち消し量が得られ、風速が15m/sのときでも9dBの騒音打ち消し量が得られた。また、騒音源として送風機を用いた場合、風がないときには5~6dBの騒音打ち消し量が得られ、風速が9.5m/sのときでも3.4dBの騒音打ち消し量が得られた。このように、本論文で提案した方法を用いることにより十分な騒音打ち消し量が得られることが確かめられた。しかし、この方法では、気温の変化や気流の変化等の影響による伝達特性の変化に追従できないという問題点があった。本研究では、近年盛んに研究が行なわれている適応フィルタをシステムに取り入れ、伝達特性の変化に追従できるような適応制御システムを構築した。適応制御システムを用いてダクト騒音の消去実験を行なった結果、騒音源としてスピーカを用いた場合、12dBの騒音打ち消し量が得られ、しかも、ゆるやかな気温変化に対して追従性を持つことが確かめられた。また、騒音源として送風機を用いた場合、風がないときに11dB程度の騒音打ち消し量が得られ、風速が5.5m/sのときでも5.4dBの騒音打ち消し量が得られた。ここで、クロススペクトル法を用いた実験においてはダクトは直管であったのに対して、適応制御システムによる実験においてはダクトは曲管部を持つものを使用し、実際のダクトに近い条件の下で実験を行なった。以上の結果から、本論文で提案した、クロススペクトル法により得られるインパルス応答を初期値として用いる適応制御システムは、他の方法に比べて収束が早く、追従性を持ち、しかも、より以上の減衰量が得られるシステムであることが確かめられた。ダクト騒音の消去実験においては、適応フィルタに対応できるような実時間波形打ち消しシステムを製作し、騒音が実時間で打ち消すことができることを確かめ、本システムの実用化の可能性についてもある程度検討することができた。今後の課題としては、本システムのホストコンピュータであるパーソナルコンピュータで計算していた部分を専用のハードウェアに置き換えて、より高速なシステ

ムを作ることがある。

## 第 5 章 結 論

本章では，本論文における内容の概略を述べた。

## 審 査 結 果 の 要 旨

ディジタル信号処理のためのハードウェア並びにソフトウェア技術の発達により、高度な信号処理の短時間内での実行が可能になった。したがって、音響振動に起因する可聴周波数雑音の制御にディジタル信号処理技術を適用することにより、新しい可能性が生じるものと期待されているが、そのためには、音響振動系に固有の性質に基づく困難を解決しなければならない。本論文は、この問題に関して行った研究の成果をまとめたもので、全文5章からなる。

第1章は序論である。

第2章では、能動制御に必要な、音響振動系と電気音響変換器を含む伝達系のインパルス応答の推定法を検討している。すなわち、正規方程式の解として推定する方法、入力信号のパワースペクトルと入出力信号のクロススペクトルを利用する方法、および適応フィルタによる方法を比較し、本問題に適用のための条件を明らかにしている。

第3章では、板の振動に起因する騒音環境下での音響信号収録を目的として、能動制御による雑音低減法を研究している。この方法の原理は、騒音源になっている板の振動波形からマイクロホン出力端子に生じる雑音波形を推定し、それを出力から差し引くというものであるが、この伝達系のスペクトルには板の振動に基づく多数の零点があるために、出力端子の雑音波形を1点の振動波形から正確に推定することはできない。著者はこれを、数点でピックアップした振動波形を用いて周波数領域で処理することによって解決している。これは、優れた着想である。

第4章は、ダクトから放射される音響的雑音の能動制御法の研究である。ここではまず、制御用2次音源として用いるスピーカをダクト開口のすぐ外側に置き、逆極性の音波を放射して二重極を形成することにより、放射音響パワーを実質的に低減できることと、音源信号をピックアップするマイクロホンをダクトの奥に置いて音響帰還を著しく少なくすることにより、安定な制御系が構成できることを述べている。さらに、制御用スピーカの特性を相殺するインパルス応答を用いる制御システムを試作し、実験によってその有効性を示している。また、適応フィルタによる制御実験を行い、前の方法と比較して、それぞれの実用上の問題点を明らかにしている。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は、音響振動に起因する雑音の能動制御への、ディジタル信号処理技術の応用について研究し、有用な方法を開発すると共に、いくつかの新しい知見を得たもので、音響工学ならびに情報工学の進歩に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。